

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Кафедра «Машины и аппараты химических и силикатных
производств»**

**РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ
МАШИН И АГРЕГАТОВ**

**Программа, методические указания и задания
по контрольным работам и курсовым проек-
там для студентов заочной формы обучения
специальности 1-36 07 01 «Машины и аппара-
ты химических производств
и предприятий строительных материалов»**

Минск 2004

УДК 621.002.5

ББК 35.11

Р 24

Рассмотрены и рекомендованы к изданию редакционно-издательской группой университета

Составители:

доцент, кандидат технических наук *Л. В. Новосельская*,
ассистент, кандидат технических наук *А. А. Гарабажу*

Рецензент

заведующий кафедрой ПиАХП БГТУ доктор технических наук, профессор *В. А. Марков*

По тематическому плану изданий учебно-методической литературы университета на 2004 год. Поз. 65.

Для студентов заочной формы обучения специальности 1-36 07 01 «Машины и аппараты химических производств и предприятий строительных материалов».

© Учреждение образования
«Белорусский государственный
технологический университет», 2004

ВВЕДЕНИЕ

Курс «Расчет и конструирование машин и агрегатов» является связующим между общеинженерными и специальными дисциплинами. Он базируется на теоретической части курсов сопротивления материалов, теоретической механики, деталей машин и материаловедения. Основная задача его заключается в том, чтобы научить студентов использовать общеинженерные методы для расчета конкретного вида механического оборудования и металлоконструкций.

При изучении курса студенты должны овладеть методами расчета и проектирования механического оборудования, навыками работы с технической и справочной литературой, ознакомиться и использовать требования стандартов Единой системы конструкторской документации.

1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

В соответствии с графиком учебного процесса, дисциплина «Расчет и конструирование машин и агрегатов» изучается студентами заочного факультета на V курсе. В процессе изучения они выполняют одну контрольную работу в 9 семестре и курсовой проект в 10 семестре. Учебными планами предусмотрено 16 часов лекций и 14 часов практических занятий в 9 и 10 семестрах. Завершается курс зачетом в 9 и экзаменом в 10 семестре.

Целью данных методических указаний является оказание помощи студентам в усвоении дисциплины.

Контрольная работа дает возможность проверить усвоение студентами материала курса в процессе его изучения и устранить возможные ошибки.

При выполнении заданий студент получает навыки работы с технической и справочной литературой, действующими нормами, методами расчета и проектирования наиболее распространенных типов конструкций механического оборудования на базе изучения предшествующих дисциплин и данного курса.

К зачету и экзамену допускаются студенты, выполнившие контрольную работу и курсовой проект.

2. ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

2.1. Введение

Номенклатура металлоконструкций механического оборудования химических предприятий и предприятий строительных материалов и конструкций. Современное состояние методов расчета, проектирования и технологии изготовления металлоконструкций. Задачи оптимального проектирования [1, с. 6–10], [2], [6, с. 4–7].

Основные этапы проектирования. Техническое задание, технический проект, рабочий проект. Составление расчетных схем, определение усилий, проектирование элементов и соединений, социальные, механические и экономические требования, предъявляемые к механическим конструкциям. ЕСКД, ГОСТ, ОСТ, нормаль [1, с. 10–100].

2.2. Материалы металлоконструкций механического оборудования

Общие требования к материалам металлоконструкций. Механические характеристики сталей, области их применения [1, с. 3–96], [7, с. 5–13], [8, с. 10–17].

Факторы, влияющие на работу материала (вид напряженного состояния, скорость деформирования, концентрация напряжений, характер нагружения). Работа материала при высоких температурах. Явление ползучести, критерии оценки длительной прочности. Рекомендации по выбору марок стали для металлоконструкций механического оборудования [10, с. 15–36].

Сортамент. Прокатные, штамповые и гнутые профили. ГОСТы на материал и прокатные профили [7, с. 14–17], [8, с. 17–21].

Постоянные и переменные нагрузки. Вероятностный характер максимальных нагрузок. Расчетные сочетания нагрузок. Расчет по допускаемым напряжениям. Расчет по предельным состояниям. Физический смысл коэффициентов запасов прочности. Виды предельных состояний [8, с. 31–57], [9, с. 469–472], [15, с. 33–65].

Сварные соединения. Виды сварных швов и соединений. Механические свойства сварных соединений, допускаемые напряжения и расчетные сопротивления. Распределение усилий в сварных соединениях. Практические методы расчета сварных соединений на прочность. Конструктивно-технологические мероприятия по повышению

сопротивления усталости сварных соединений и уменьшению остаточных напряжений и деформаций [8, с. 36–132, 133–160, 170–189].

Болтовые, заклепочные и шарнирные соединения. Практические методы расчета.

2.3. Расчет оболочек вращения

Основные определения. Системы координат. Безмоментная теория оболочек. Уравнения равновесия элемента Лапласа. Методы решения. Применение уравнений Лапласа к расчету оболочек различных форм. Теории прочности. Определение толщины стенки тонкостенной оболочки вращения. Выбор расчетных данных. Допускаемые напряжения, конструктивные добавки, расчетное давление, давление гидроиспытаний и его учет при расчете на прочность [5, с. 12–58], [6, с. 16–20].

Основы моментной теории. Определение внутренних усилий и перемещений оболочек, «длинные» и «короткие» цилиндры. Канонические уравнения методов сил, их составление и решение. Основы моментной теории цилиндрических и конических оболочек. Расчет толщин стенок обечаек с учетом действия краевых сил и моментов по безмоментной и моментной теориям прочности. Проектирование бункеров и силосов [5, с. 100–111, с. 145–176], [6, с. 54–75].

Устойчивость цилиндрических оболочек. Схемы оболочек и расчетных длин оболочек, нагруженных наружным давлением. Расчетные длины, «длинные» и «короткие» цилиндры. Формулы Саусвелла, Бресса [1, с. 100–111], [5, с. 217–248].

2.4. Проектирование днищ и крышек

Типы днищ и крышек. Эллиптические днища. Конические днища. Плоские днища. Обоснование выбора формы днищ и их расчет на прочность [1, с. 111–145].

2.5. Проектирование прочно-плотных соединений

Разъемные соединения трубопроводов и аппаратов. Условное давление, условный диаметр. Типы фланцев и фланцевых соединений. Расчетные нагрузки. Расчет на прочность плоских приварных, свободных, цельных фланцев. Выбор прокладок, расчет болтов [1, с. 210–259].

2.6. Проектирование горизонтальных сосудов

Назначение горизонтальных сосудов. Расчетная длина. Определение изгибающих моментов для двух- и многоопорных сосудов. Расчет и подбор седловых опор [1, с. 291–305].

2.7. Проектирование аппаратов высокого давления

Материалы АД, трехосное напряженное состояние. Определение расчетных сил и моментов АД. Схемы обогрева, натяга, автофреттажа. Расчет давлений разрушения, определение толщин стенок для однослойных и многослойных сосудов [6, с. 123–135].

2.8. Проектирование медленно вращающихся оболочек

Расчет на прочность двух- многоопорных барабанов. Проверка на общую и местную устойчивость, жесткость. Проектирование бандажей и опорных станций вращающихся барабанов. Контактные напряжения. Расчет нагруженных симметрично радиальными силами, сидящих свободно на башмаках, надетых свободно с непрерывным касанием бандажей на прочность. Проверка бандажей на выносливость [3, с. 26–33], [5, с. 686–730], [9, с. 507–548], [12].

2.9. Проектирование деталей, подверженных колебаниям

Типы и виды колебаний стержней. Свободные колебания, биевание вала. Вынужденные колебания, резонанс. Затухающие колебания, логарифмический декремент, апериодические колебания, демпфирование. Вынужденные колебания с затуханием, самоцентрирование. Продольные колебания стержней. Критическая скорость валов. Приближенные методы расчета критической скорости валов, факторы, влияющие на критические скорости [4, с. 319–419], [5, с. 532–686].

2.10. Расчет виброизоляции

Частотные характеристики. Способы уменьшения вибрации оборудования. Определение параметров виброизоляции. Виброизоляция упругих балок и фундаментов [4, с. 370–419].

2.11. Проектирование балок

Типы балок и их применение в узлах механического оборудования. Проектирование балок с передвигающимся по ним грузом, линии влияния. Проектирование составных балок. Местная устойчивость элементов балок. Мероприятия по обеспечению местной устойчивости. Расчетные схемы. Общая устойчивость балок. Соединение балок (сварка, заклепка, болтовые соединения) [8, с. 301–336], [9, с. 20–76].

2.12. Расчет и конструирование стержней

Типы стержней и применение их в узлах механического оборудования. Расчет на прочность и устойчивость центрально-растянутых, центрально-сжатых и сжато-изогнутых стержней. Расчет на прочность составных стержней [9, с. 507–548].

2.13. Проектирование ферм для механического оборудования

Типы ферм. Рациональные формы сечений стержней ферм. Предельные гибкости элементов. Расчет и конструирование ферм. Расчетные схемы, особенности конструкции и расчета ферм [8, с. 440–460], [9, с. 120–184].

2.14. Проектирование рам для механического оборудования

Типы рам, применяемых в металлоконструкциях механического оборудования. Расчетные схемы, особенности конструкции и расчета поворотных платформ и столов, станин щековых дробилок, рам бетоноукладчиков [8, с. 414–428].

2.15. Расчет и проектирование тонких жестких пластин

Классификация пластин. Основные гипотезы при рассмотрении напряженного состояния пластин. Дифференциальные уравнения изгиба осесимметрично нагруженных круглых пластин [5, с. 363–364].

3. УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

3.1. Содержание контрольной работы

В процессе изучения курса студенты выполняют контрольную работу, которая состоит из трех вопросов и одной задачи.

Каждый студент выполняет вариант задания контрольной работы в соответствии с номером зачетной книжки. Теоретические вопросы выполняются по последней цифре номера зачетной книжки. Например, если номер зачетной книжки 99-15152, то номера теоретических вопросов – 2, 12, 22. Номер задачи выбирается по предпоследней цифре, а номер варианта – по последней. Например, если номер зачетной книжки 99-15152, то студент выполняет задачу № 5, вариант 2.

Контрольная работа выполняется в тетрадях или на отдельных листах, скрепленных в скоросшивателе, с необходимой надписью на обложке. Текстовый материал контрольной работы должен сопровождаться эскизами, схемами с указанием действующих усилий, рисунками и графиками, поясняющими излагаемый материал и расчеты. Рисунки выполняются аккуратно карандашом с сопровождением пояснительных надписей в соответствии с ЕСКД. При необходимости ссылки на литературный источник, в тексте проставляется его порядковый номер в квадратных скобках, например, [2]. Формулы вначале приводят в общем виде, а затем по ходу решения в них подставляют численные значения, выраженные в единицах СИ. Каждая формула должна иметь порядковый номер в пределах раздела, заключенный в круглые скобки, например (2.3) (третья формула второго раздела). Недостающие в задании данные следует принимать по справочникам с обязательной ссылкой на литературный источник. Например, $[\sigma]=140 \text{ МПа}$ [1, с. 11].

Иллюстрации должны пояснять излагаемый текст и выполняться в виде эскизов, схем, графиков, фотографий. Все иллюстрации нумеруются в пределах раздела (главы) арабскими цифрами. Номер иллюстрации состоит из номера раздела и порядкового номера рисунка в пределах данного раздела.

3.2. Вопросы к контрольной работе

1. Требования, предъявляемые к химическим машинам и аппаратам. Стадии проектирования. ГОСТ, ОСТ, СТП. Номенклатура метал-

- локонструкций механического оборудования. Стандартизация, унификация.
2. Допускаемые напряжения, выбор расчетных данных для различных сочетаний нагрузок при проектировании металлоконструкций. Виды деформаций, модуль Юнга, коэффициент Пуассона, коэффициент запаса прочности.
 3. Иерархическая структура проектирования. Долговечность, надежность оборудования. Факторы, влияющие на выбор конструкционных материалов. Основные методы проектирования.
 4. Безмоментная теория прочности. Уравнение Лапласа. Применение уравнения Лапласа для расчета оболочек любых форм.
 5. Расчет толщин стенок сосудов от внутреннего давления.
 6. Краевые силы и моменты сопрягаемых оболочек. Определение напряжений при совместном действии моментной и безмоментной теорий прочности.
 7. Расчет сосудов от действий наружного давления.
 8. Проектирование горизонтальных сосудов.
 9. Расчет и проектирование бункеров.
 10. Конструкции и области применения выпуклых, плоских и конических днищ.
 11. Проектирование аппаратов высокого давления.
 12. Расчетные нагрузки прочно-плотных соединений.
 13. Цельные, приварные, свободные фланцы.
 14. Проектирование медленно вращающихся коротких оболочек.
 15. Проектирование медленно вращающихся длинных оболочек.
 16. Расчет и проектирование бандажей барабанов.
 17. Проектирование быстро вращающихся оболочек (роторы центрифуг).
 18. Опоры и лапы горизонтальных и вертикальных аппаратов.
 19. Колебания (виды, типы). Свободные колебания.
 20. Вынужденные колебания, биение вала, резонанс.
 21. Затухающие колебания, логарифмический декремент.
 22. Вынужденные затухающие колебания, самоцентрирование вала.
 23. Факторы, влияющие на критические скорости вращения вала.
 24. Режимы работы металлоконструкций, выбор расчетных данных при различных видах нагружения.
 25. Соединения металлоконструкций.
 26. Проектирование составных балочных конструкций.
 27. Расчет балок на прочность, жесткость и устойчивость.

28. Проектирование ферм.
29. Проектирование рам.
30. Пассивная и активная виброизоляция машин. Расчет сжатых и растянутых элементов виброизоляции.

3.3. Задачи к контрольной работе

Задача № 0–1

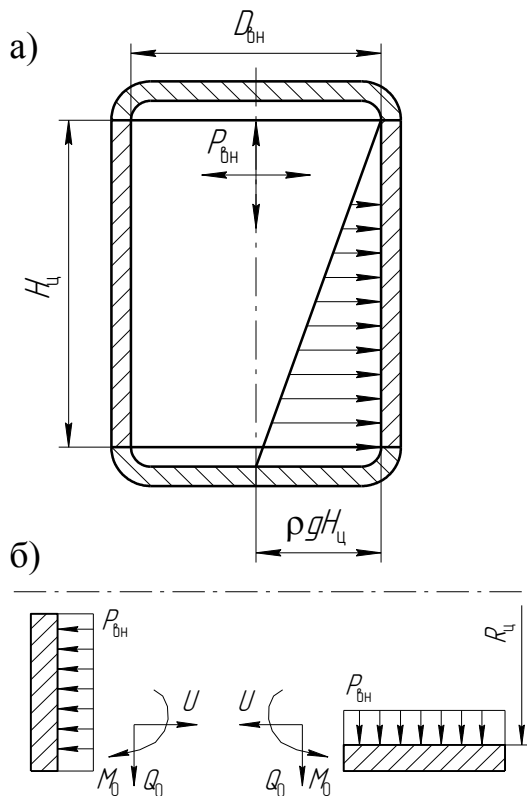


Рис. 1. Расчетная схема: а) вертикального сосуда; б) сил и моментов в узле сопряжения

Для вертикального цилиндрического сосуда, работающего под внутренним давлением и заполненного жидкостью ($\rho = 1200 \text{ кг/м}^3$) на 0,7 высоты (рис. 1), осуществить проверку прочности цилиндрической обечайки в месте соединения ее с плоскими днищами по следующим исходным данным (табл. 1): $D_{\text{вн}}$ – внутренний диаметр аппарата, м; $H_{\text{ц}}$ – высота цилиндрической части аппарата, м; $P_{\text{вн}}$ – давление внутри аппарата, МПа. Коэффициент прочности сварных швов принять равным $\phi_{\text{св.шв.}} = 1$. Материал – листовая сталь X18H10T, допускаемое напряжение $[\sigma] = 162 \text{ МПа}$. Температура стенок аппарата -50°C . Рекомендуемая литература [1, 6].

Табл. 1. Исходные данные к задаче № 0–1

№ варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$D_{\text{вн}}$, м	0,8	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	1,6	1,4	1,2	1,0
$H_{\text{ц}}$, м	1,6	1,6	2,0	2,0	2,4	2,4	2,2	1,8	2,0	1,6
$P_{\text{вн}}$, МПа	2,0	2,0	1,8	1,6	1,2	1,0	1,1	1,8	2,0	2,0

Порядок расчета

1. Определить толщину стенки цилиндрической обечайки.

2. Определить толщину стенки плоских днищ.
3. Определить суммарные напряжения на краю обечайки с учетом напряжений от внутреннего давления ($P_{\text{вн}}$), краевых сил (Q_0) и краевых моментов (M_0).
4. Проверить условие прочности в месте сопряжения цилиндр – днище.
5. При несоблюдении условий прочности, предусмотреть конструктивные и расчетные мероприятия по упрочнению узлов сопряжения аппарата.

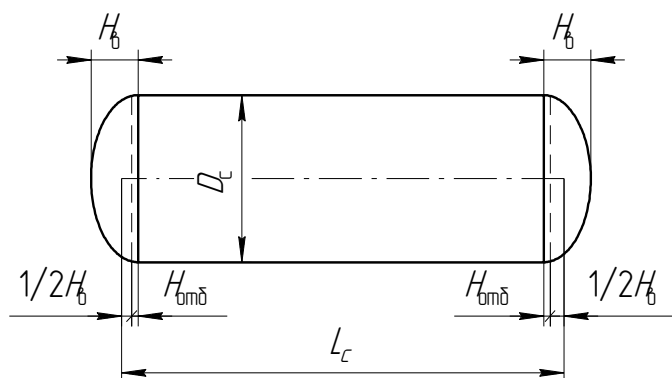


Рис. 2. Расчетная схема горизонтального сосуда

Задача № 2–3

Определить расчетную длину, величины изгибающих моментов, рассчитать толщину стенки, подобрать днища и опоры, проверить на устойчивость горизонтальной сосуд (рис. 2) по следующим исходным данным (табл. 2): L_c – длина сосуда, м; D_c – диаметр сосуда, м; $P_{\text{вн}}$ – давление внутри сосуда, МПа. Среда в корпусе – агрессивная, температура внутри сосуда – 20°C. Рекомендуемая литература [1, 10].

Табл. 2. Исходные данные к задаче № 2–3

№ варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
L_c , м	20	18	8	12	14	10	8	6	16	12
D_c , м	1,8	3,0	2,2	2,6	2,6	2,2	2,4	2,2	2,8	2,2
$P_{\text{вн}}$, МПа	0,3	0,05	0,2	0,16	0,03	0,4	0,2	0,05	0,05	0,2

Порядок расчета

1. Подобрать конструкционный материал.
2. Рассчитать количество опор и расстояние между ними.
3. Подобрать днища.
4. Определить расчетную длину.
5. Рассчитать толщину стенки от заданного давления.
6. Проверить на жесткость и устойчивость сечение над опорами.

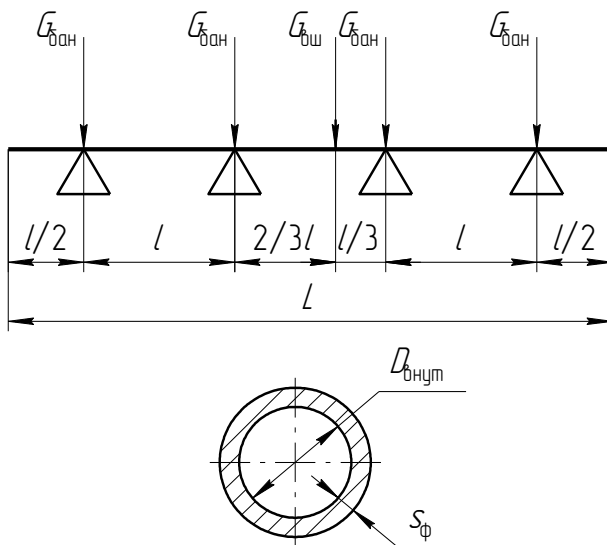


Рис. 3. Расчетная схема вращающейся печи. $G_{\text{внш}} = 500$ кг, вес бандажей $G_{\text{бан}} = 150$ кг. Вес венцовой шестерни принять за сосредоточенную нагрузку, вес бандажей идет в распределенную нагрузку. Рекомендуемая литература [3, 9, 13, 14, 16].

Табл. 3. Исходные данные к задаче № 4–5

№ варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
L , м	80	120	120	100	140	80	120	160	140	130
$D_{\text{внут}}$, м	3,2	3,0	2,6	2,6	3,2	3,0	3,0	3,2	3,0	2,8

Порядок расчета

1. Принять толщину стенки печи $s = 0,01 \cdot D_{\text{внут}}$.
2. Определить величину изгибающего момента по методике расчета неразрезной балки.
3. Проверить корпус печи на жесткость и устойчивость.

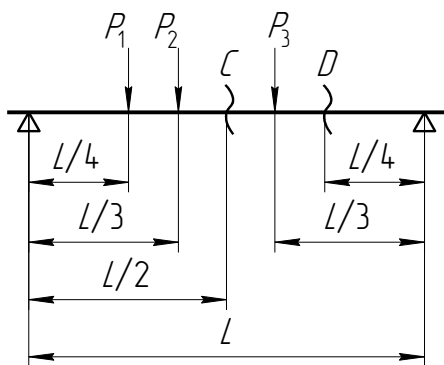


Рис. 4. Расчетная схема балки с подвижной нагрузкой

7. Подобрать седловые опоры.

Задача № 4–5

Рассчитать на прочность обечайку корпуса вращающейся печи (рис. 3) по следующим исходным данным (табл. 3): L – длина печи, м; $D_{\text{внут}}$ – внутренний диаметр печи, м. Температура внутри печи – 300°C , футеровка – шамотный кирпич, толщина футеровки $s_{\text{ф}} = 0,2$ м. Материал корпуса печи – Сталь Ст 3 ГОСТ 380-88. Вес венцовой шестерни

Задача № 6–7

Определить реакции опор, поперечную силу, изгибающий момент в сечениях (C) и (D) балки (рис. 4), при воздействии на нее движущихся грузов по следующим исходным данным

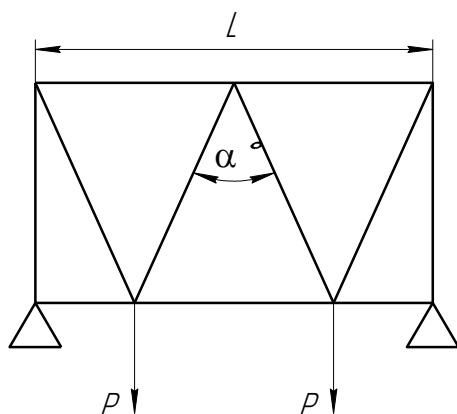
(табл. 4): P_1, P_2, P_3 – расчетные нагрузки, кН; L – длина балки, м. Рекомендуемая литература [16].

Табл. 4. Исходные данные к задаче № 6–7

№ варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P_1 , кН	0,2	0,8	1,0	0,4	0,6	0,8	1,2	1,0	0,6	0,8
P_2 , кН	0,4	0,4	0,6	0,2	0,2	0,3	0,1	0,5	1,0	0,2
P_3 , кН	0,6	0,8	0,2	0,6	0,8	0,4	0,6	0,2	0,3	0,1
L , м	14	12	10	10	8	6	10	12	8	10

Порядок расчета

1. Построить линии влияния поперечных сил, реакций опор и изгибающих моментов.
2. Из условия прочности подобрать сечение профиля балки.
3. Проверить балку на общую и местную устойчивость.
4. Произвести проверку на выносливость.



Задача № 8–9

Рассчитать ферму кранового смесителя (рис. 5) по следующим исходным данным (табл. 5): L – длина фермы, м; α – угол раскоса, град.; P – вес груза, т. Рекомендуемая литература [16].

Рис. 5. Расчетная схема фермы кранового смесителя

Табл. 5. Исходные данные к задаче № 8–9

№ варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
L , м	14	12	10	10	8	6	10	12	8	10
P , т	6,0	5,0	4,0	2,0	6,0	5,0	5,0	6,0	2,0	3,0
α , град.	80	60	90	60	80	90	90	80	60	60

Порядок расчета

1. Определить статическую определимость и геометрическую неизменяемость фермы.

2. Определить реакции опор и усилия в стержнях с использованием метода вырезания узлов.
3. Подобрать профиль стержней.
4. Произвести необходимые проверочные расчеты.

4. УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

4.1. Содержание курсового проекта

Курсовой проект состоит из расчетно-пояснительной записки и графической части. Расчетно-пояснительная записка должна содержать

- 1) Титульный лист с обязательным указанием шифра.
- 2) Задание к курсовому проекту.
- 3) Реферат.
- 4) Введение.
- 5) Основные расчеты на прочность.
- 6) Проверочные расчеты.
- 7) Заключение.
- 8) Список использованных литературных источников.

Расчетно-пояснительная записка и графическая часть курсового проекта должны быть выполнены и оформлены в соответствии с требованиями стандарта предприятия БГТУ СТП 001-2002.

Тема курсового проекта выбирается студентом по сумме двух последних цифр зачетной книжки, деленной на два, а номер варианта – по последней.

4.2. Рекомендации по выбору расчетных данных

За основу расчета принимаются нормативные материалы, действующие в химическом и нефтяном машиностроении и строительные нормы и правила (СНиП). В проекте необходимо выполнить расчеты на прочность, жесткость, устойчивость элементов оборудования.

Рассчитать на прочность – значит найти напряжения от заданных нагрузок в опасных сечениях и по максимальным напряжениям определить геометрические параметры, при которых не происходит разрушение конструкции.

Рассчитать на устойчивость – значит определить геометрические параметры, при которых сохраняется первоначальная форма от действия заданных нагрузок за весь расчетный период работы конструкции.

При расчете на плотность проводится подбор и проверка всех элементов, обеспечивающих герметичность оборудования.

Методика расчета, выбор расчетных параметров, допускаемых напряжений, конструкционных материалов, назначаемые в расчетах коэффициенты запасов прочности и выбираемые коэффициенты должны полностью гарантировать работу оборудования без разрушения за весь рабочий цикл. Учитывая, что большая часть оборудования химической промышленности работает при повышенных давлениях и температурах, в условиях действия агрессивных сред и на его изготовление идет дорогостоящая нержавеющая сталь, не следует неоправданно увеличивать запас прочности, чтобы не утяжелять конструкцию и не повышать ее стоимость.

Приняв во внимание перечисленные требования, можно дать следующие рекомендации по выбору рабочего давления, расчетной температуры, допускаемых поправочных коэффициентов, конструкционных материалов.

Выбор расчетного давления

За расчетное давление принимается давление, при котором производится расчет на прочность сосудов или аппаратов, как правило, оно равно рабочему давлению. Если высокий сосуд заполнен жидкостью, то гидростатическое давление при определении расчетного давления учитывается в том случае, если его величина превышает рабочее на 5%.

Чтобы проверить герметичность, изготовленные сосуды подвергаются гидравлическим испытаниям при пробном давлении. Выбор пробного давления ориентировочно можно принять по табл. 6.

Табл. 6. Давления гидроиспытаний

Сосуды и аппараты	Рабочее давление (P), МПа	Пробное давление при гидроиспытаниях, МПа
Сварные и кованые	ниже 0,5	$1,5P$, но не менее 0,2
Литые	любые	$1,5P$, но не менее 0,3
Сварные и кованые	0,5 и выше	$1,25P$, но не менее $P+0,3$

При проверке на прочность, при пробном давлении, допускаемое напряжение принимается с запасом прочности 1,1 к пределу текучести при нормальных условиях.

Расчетная температура

За расчетную температуру материала стенки сосуда принимается температура среды, соприкасающейся со стенкой.

При защите аппарата теплоизоляцией за расчетную принимается температура поверхности изоляции, соприкасающейся со стенкой.

Допускаемые напряжения

Допускаемые напряжения $[\sigma]$ определяются по формуле [1]

$$[\sigma] = \eta \cdot \sigma, \quad (1)$$

где η – коэффициент, учитывающий условия эксплуатации аппарата, принимается в пределах 0,85–1,0; для взрывоопасных, пожароопасных и токсичных материалов следует принимать $\eta = 0,9$;

σ – нормативное допускаемое напряжение выбирается в зависимости от расчетной температуры и свойств конструкционного материала [1] с учетом запаса прочности по пределу прочности ($n_B = 2,4$), по пределу текучести ($n_T = 1,5$) и по пределу длительной прочности ($n_D = 1,1$).

Прибавка к расчетным толщинам конструктивных элементов

При расчете на прочность необходимо учитывать коррозионное влияние рабочей среды на материал конструктивных элементов, отрицательный допуск на толщину металла, влияние механического износа. С учетом этих особенностей расчетная толщина стенки увеличивается на 2 мм и округляется до ближайшего значения по ГОСТ.

Выбор конструкционных материалов

При выборе конструкционных материалов необходимо исходить из того, что они должны удовлетворять комплексу требований, обусловленных конструкцией, технологией обработки и эксплуатацией.

Наиболее распространенной группой конструкционных материалов являются стали. Стали обладают такими свойствами, как прочность, вязкость, способность выносить динамические нагрузки, способность отливаться, коваться, свариваться, хорошо обрабатываются резанием.

Содержание углерода в сталях доходит до 1,5%. С повышением содержания углерода снижается пластичность, ухудшается свариваемость.

мость. Поэтому стали с более высоким содержанием углерода при повышенных давлениях применять не рекомендуется, т.к. при вальцовке материал подвергается большим пластическим деформациям. Углеродистые стали рекомендуется применять для несущих конструкций и деталей аппаратов, работающих при давлении до 2,5 МПа и температурах до 125°C.

Для изготовления сварных и кованых сосудов, работающих при повышенном и высоком давлении, применяются молибденовые (сталь 16М) и хромомолибденовые (12ХМ, 15ХМ) стали.

Предельные температуры при длительной работе для стали 12ХМ – 540°C, а для стали 15ХМ – 560°C.

Легирующие добавки существенно повышают конструкционные свойства сталей. В аппаратостроении наиболее распространены аустенитные стали 1Х18Н9Т, Х18Н10Т, 1Х18Н12М2Т. Эти стали обладают коррозионной стойкостью ко многим агрессивным средам, прочностью, жаростойкостью, хорошо штампуются, свариваются, удовлетворительно обрабатываются резанием.

Материалы для сосудов, аппаратов и металлических конструкций выбираются в соответствии с правилами ПРОМАТОМНАДЗОРА в зависимости от условий эксплуатации [1].

4.3. Тематика курсового проектирования

Тема № 0

Определить толщину стенки вертикального сосуда с рубашкой (рис. 6), проверить на допускаемое давление, подобрать днища, крышки, опоры, фланцы по следующим исходным данным (табл. 7): $D_{вн}$ – внутренний диаметр сосуда, м; $D_{руб}$ – внутренний диаметр рубашки, м; $H_{ц}$ – высота цилиндрической части сосуда, м; $P_{вн}$ – давление внутри сосуда, МПа; $P_{руб}$ – давление в рубашке, МПа. Среда в корпусе – слабый

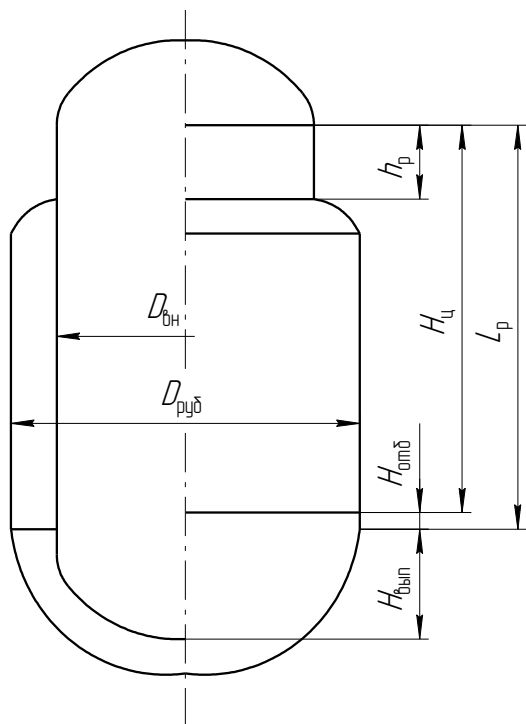


Рис. 6. Расчетная схема вертикального сосуда с рубашкой

раствор серной кислоты, а в рубашке – вода. Рекомендуемая литература [1, 10].

Табл. 7. Исходные данные к теме № 0

№ варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$D_{\text{вн}}, \text{ м}$	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	2,2	2,4	2,6	2,8
$D_{\text{руб}}, \text{ м}$	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	2,4	2,6	2,8	3,0
$H_{\text{ц}}, \text{ м}$	3,0	3,2	3,4	3,6	3,4	3,6	2,6	2,6	3,0	3,4
$P_{\text{вн}}, \text{ МПа}$	0,1	0,1	0,2	0,2	0,5	0,4	0,3	0,1	0,2	0,4
$P_{\text{руб}}, \text{ МПа}$	0,15	0,1	0,4	0,3	0,3	0,22	0,2	0,3	0,4	0,2

Последовательность выполнения проекта

1. Подобрать конструкционные материалы.
2. Выбрать необходимые к расчету данные.
3. Подобрать днище и крышку.
4. Определить расчетную длину обечайки.
5. Рассчитать обечайку от действия внутреннего давления.
6. Рассчитать обечайку от действия наружного давления (давления в рубашке).
7. Рассчитать крышку от действия внутреннего давления.
8. Рассчитать днища от действия наружного давления (давления в рубашке).
9. Рассчитать и подобрать фланцевые соединения обечайка-крышка.
10. Рассчитать обечайку рубашки от действия внутреннего давления (давления в рубашке).
11. Рассчитать и подобрать опоры.

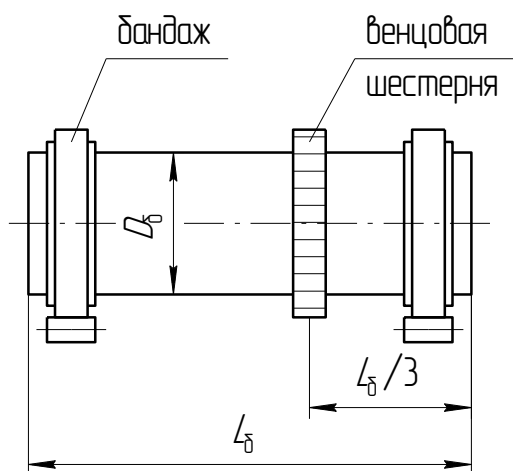


Рис. 7. Расчетная схема барабана

Тема № 1

Рассчитать толщину стенки барабана (рис. 2), проверить условие жесткости и прочности, определить параметры бандаж, проверить бандаж на прочность и выносливость по следующим исходным данным (табл. 8): L_{δ} –

длина барабана, м; D_6 – диаметр барабана, м. Принять: вес венцовой шестерни – 500 кг; вес банджа – 200 кг; температуру внутри барабана – 400°C. Рекомендуемая литература [1, 3, 6, 12, 13].

Табл. 8. Исходные данные к теме № 1

№ варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
L_6 , м	20	18	18	16	12	10	8	6	16	12
D_6 , м	3,6	3,0	2,2	2,6	2,6	3,2	2,4	2,2	2,8	2,2

Последовательность выполнения проекта

1. Подобрать конструкционные материалы.
2. Принять толщину стенки корпуса.
3. Выбрать количество опор и назначить расстояние между ними.
4. Определить максимальный изгибающий момент.
5. Проверить на прочность принятую толщину стенки.
6. Рассчитать и подобрать сечение бандажей.
7. Проверить сечение бандажей на прочность, жесткость и выносливость.

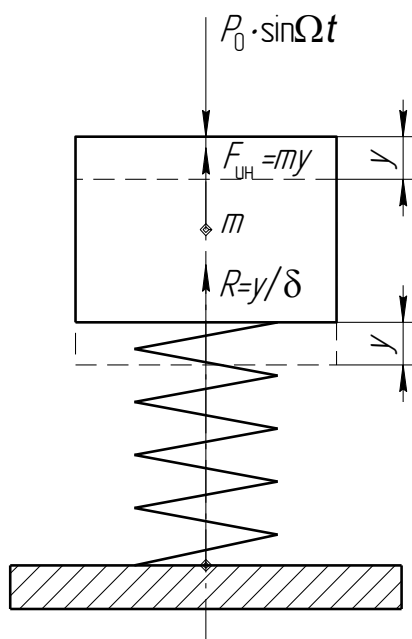


Рис. 8. Расчетная схема активной виброизоляции

Тема № 2

Рассчитать основные параметры активной виброизоляции под центрифугу (рис. 8) по следующим исходным данным (табл. 9): A_{\max}/A отношение амплитуд; G – вес центрифуги, т.; T – время пуска двигателя, с; e – наибольший эксцентриситет, м. При расчете принять рабочую скорость вращения $n = 1750$ об/мин, вес вращающихся масс $P = 40$ кг, вес центрифуги $P_0 = 400$ кг, материал пружин – хромованадиевая сталь, допускаемая амплитуда колебаний $[A] = 0,05$ мм. Рекомендуемая литература [4].

Табл. 9. Исходные данные к теме № 2

№ варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A_{\max} / A	5	7	6	8	9	6	7	5	8	6
$G, \text{ т}$	0,5	0,8	1,2	1,8	1,0	0,9	1,5	0,6	0,8	1,6
$T, \text{ с}$	30	60	90	120	90	40	60	120	30	40
$e \cdot 10^{-4}, \text{ м}$	2,5	2,75	4,0	4,0	4,0	4,5	4,0	3,0	2,5	3,5

Последовательность выполнения проекта

1. Определить амплитуду и частоту возмущающей силы.
2. Выбрать в пределах $1/40 < \beta < 1/15$ коэффициент передачи.
3. Выбрать тип амортизатора по коэффициенту демпфирования.
4. Определить общую жесткость виброизоляторов.
5. Определить жесткость одного виброизолятора по соотношению A_{\max} / A и графику (рис. 9).
6. Окончательно выбрать тип амортизатора.
7. Определить необходимость установки постаментов.
8. Определить нагрузки для расчета виброизолятора.
9. Рассчитать геометрические параметры виброизолятора.
10. Рассчитать коэффициент передачи виброизолятора и сравнить с допустимым значением.
11. Вычислить амплитуду вынужденных колебаний и сравнить с допустимым значением.

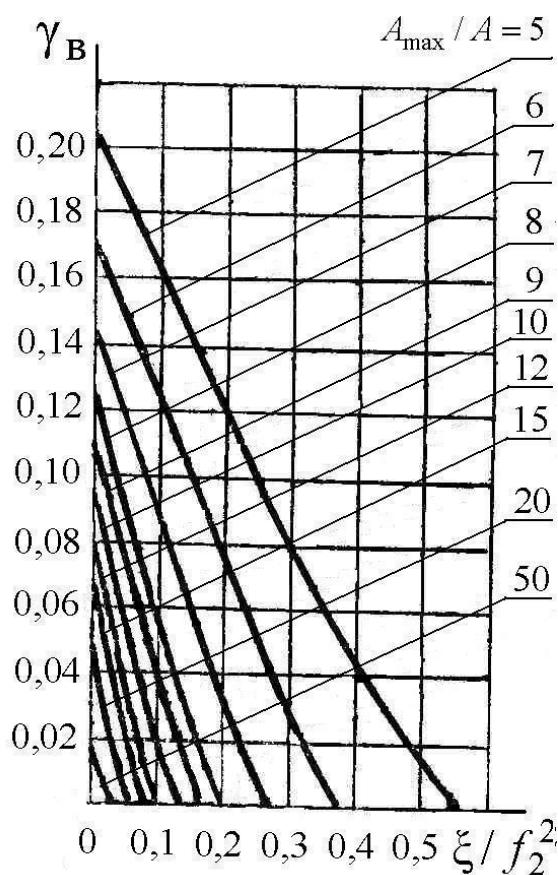
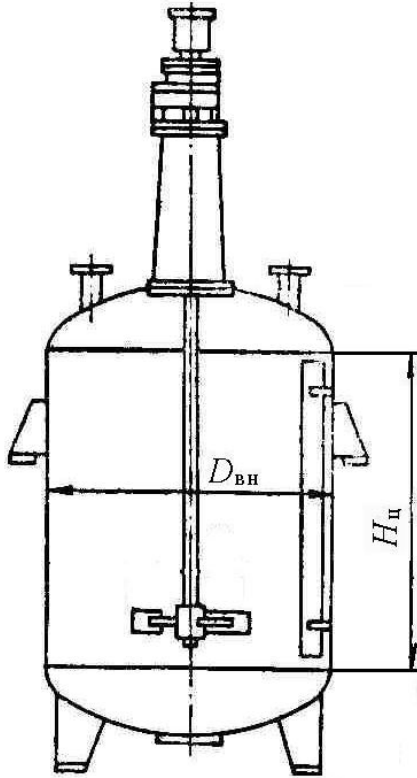


Рис. 9. Графические зависимости для определения коэффициента демпфирования



Тема № 3
Определить толщину стенки вертикального сосуда с мешалкой (рис. 10), подобрать днища, крышки, опоры, диаметр вала мешалки, фланцы по следующим исходным данным (табл. 10): $D_{\text{вн}}$ – внутренний диаметр сосуда, м; $H_{\text{ц}}$ – высота цилиндрической части сосуда, м; $P_{\text{вн}}$ – давление внутри сосуда, МПа. Среда в корпусе – аммиачная, а число оборотов вала мешалки – 780 об/мин. Рекомендуемая литература [1, 6, 10].

Рис. 10. Расчетная схема вертикального сосуда с мешалкой

Табл. 10. Исходные данные к теме № 3

№ варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$D_{\text{вн}}$, м	2,2	2,4	2,6	2,8	2,4	3,0	2,2	2,4	1,4	1,6
$H_{\text{ц}}$, м	2,8	3,0	3,2	3,4	3,4	2,6	2,6	2,6	2,0	2,2
$P_{\text{вн}}$, МПа	0,3	0,05	0,05	0,02	0,2	0,4	0,05	0,05	0,05	0,05

Последовательность выполнения проекта

1. Подобрать конструкционные материалы.
2. Выбрать необходимые к расчету данные.
3. Подобрать днище и крышку.

4. Определить расчетную длину обечайки.
5. Рассчитать обечайку от действия расчетного давления.
6. Рассчитать крышку от действия расчетного давления.
7. Рассчитать и подобрать фланцевые соединения обечайка-крышка.
8. Рассчитать и подобрать опоры.
9. Подобрать привод и параметры мешалки.
10. Рассчитать вал мешалки на устойчивость.

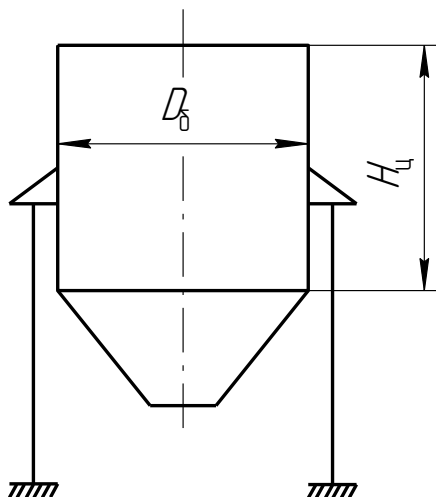


Рис. 11. Расчетная схема цилиндрического бункера 200 мм, угол наклона днища – 60°С; плотность материала – 1200 кг/м³; высота стоек рамы – 2400 мм. Рекомендуемая литература [6–8, 13, 16].

Тема № 4

Рассчитать толщину вертикальных и наклонных стенок цилиндрического бункера (рис. 11), заполненного песком, подобрать крышку (крышка съемная) и днище, опоры и опорную раму к нему по следующим исходным данным (табл. 11): $H_{ц}$ – высота цилиндрической части бункера, м; $D_{б}$ – диаметр бункера, м; $V_{б}$ – объем бункера, м³. Принять: отношение высоты к диаметру бункера $H_{ц}/D_{б}=1,5$; диаметр патрубка для выгрузки материала –

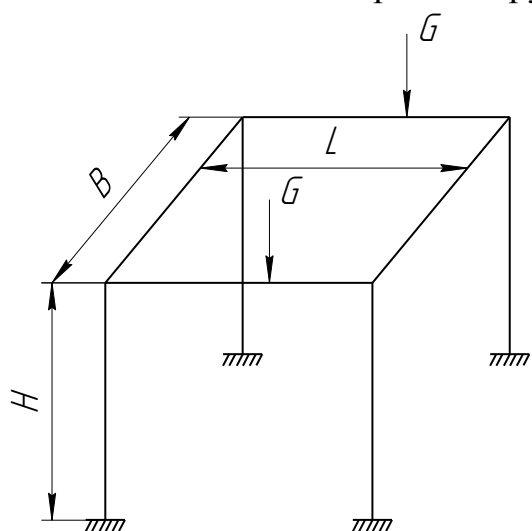
Табл. 11. Исходные данные к теме № 4

№ варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$D_{б}$, м	2,2	2,4	2,6	2,0	2,6	1,5	1,6	1,8	2,0	2,4
$V_{б}$, м ³	20	30	50	20	40	20	24	26	22	28

Последовательность выполнения проекта

1. Подобрать конструкционные материалы.
2. Выбрать расчетные данные.
3. Подобрать днище и крышку.
4. Определить нагрузки, действующие на вертикальные стенки бункера.
5. Определить толщину вертикальных стенок бункера.
6. Определить нагрузки, действующие на наклонные стенки бункера.

7. Определить толщину наклонных стенок бункера.
8. Проверить сопряжение цилиндр-конус на краевые напряжения.
9. Рассчитать крышку на прочность.
10. Рассчитать разъемное соединение плоская крышка-цилиндр.
11. Подобрать опоры. Проверить на срез сечение крепления опор к корпусу.
12. Рассчитать опорную раму под бункер.
13. Рассчитать и подобрать опору под опорную раму.



Тема № 5

Рассчитать раму (рис. 12) при передвижении по ригелю (верхняя балка) груза по следующим исходным данным (табл. 12): L – длина ригеля, м; B – ширина рамы, м; H – высота рамы, м; G – вес перемещаемого груза, кН. Рекомендуемая литература [7–9, 16].

Рис. 12. Расчетная схема рамы с подвижной нагрузкой

Табл. 12. Исходные данные к теме № 5

№ варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
L , м	2,0	2,0	4,0	2,6	3,2	3,0	2,2	2,0	2,4	2,6
B , м	2,0	4,0	2,0	2,6	3,0	3,6	2,2	2,4	2,4	2,0
H , м	2,6	2,4	3,2	3,0	3,0	2,2	3,0	2,6	3,0	2,6
G , кН	20	50	40	20	30	20	40	30	20	30

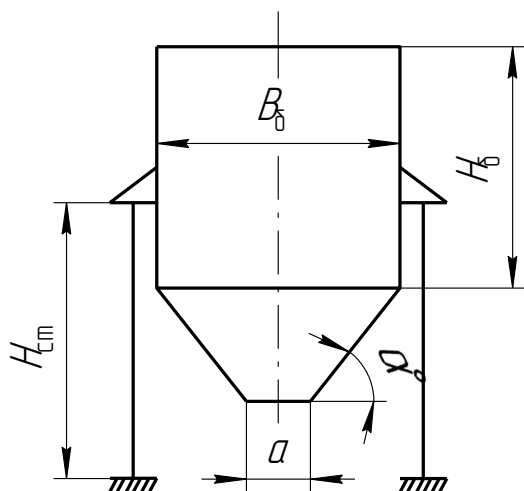
Последовательность выполнения проекта

1. Подобрать конструкционные материалы.
2. Определить реакции опор, перерезывающие силы, изгибающие моменты с использованием линий влияния.
3. Подобрать профиль ригеля из условия прочности.
4. Проверить ригель на общую и местную устойчивость.
5. Проверить ригель на выносливость.

6. Подобрать профиль стоек (рассчитать раму).
7. Проверить стойки рамы на гибкость.
8. Рассчитать и подобрать опоры под стойки.

Тема № 6

Рассчитать толщину стенки прямоугольного бункера (рис. 13), подобрать опоры и опорную раму к нему по следующим исходным данным (табл. 13): H_6 – высота прямоугольной части бункера, м; B_6 –



ширина прямоугольной части бункера, м; V – объем бункера, м^3 ; a – ширина патрубка для выгрузки материала, м; α – угол наклона днища, град.; ρ – плотность материала, $\text{кг}/\text{м}^3$; $H_{\text{ст}}$ – высота стоек рамы, м. Рекомендуемая литература [1, 6–9, 11, 13].

Рис. 13. Расчетная схема прямоугольного бункера

Табл. 13. Исходные данные к теме № 6

№ варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
H_6 , м	2,0	2,2	2,6	3,2	3,0	2,4	2,6	3,6	3,0	2,0
V , м^3	20	20	26	30	26	20	30	36	40	32
a , м	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,2	0,3	0,4	0,3	0,2
α , град.	45	45	60	60	60	45	45	60	60	45
ρ , $\text{кг}/\text{м}^3$	1600	2000	2200	2000	2200	1800	2000	2000	2200	1600
$H_{\text{ст}}$, м	2,2	2,0	2,4	2,0	2,6	2,0	2,8	3,0	2,6	2,4

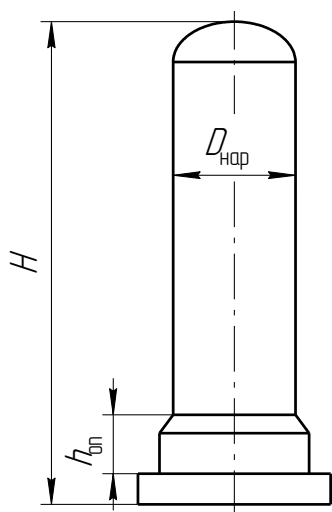
Последовательность выполнения проекта

1. Подобрать конструкционные материалы.
2. Исходя из заданного объема, определить геометрические параметры бункера.
3. Рассчитать нагрузки, действующие на вертикальные стенки бункера.

4. Рассчитать нагрузки, действующие на наклонные стенки бункера.
5. Определить толщину вертикальных и наклонных стенок.
6. Подобрать лапы бункера.
7. Проверить на срез сечение бункер-опоры.
8. Рассчитать и подобрать сечение опорной рамы.
9. Подобрать опоры под стойку рамы.

Тема № 7

Рассчитать толщину стенки, параметры опорного кольца, проверить на устойчивость опорную обечайку высокого вертикального аппарата (рис. 14) от действия ветровой нагрузки по следующим исходным данным (табл. 14):



H – высота аппарата, м; $D_{нар}$ – наружный диаметр аппарата, м. Среда – агрессивный водный раствор, плотностью – 1000 кг/м^3 . Температура внутри аппарата – 20°C . Район установки аппарата – Беларусь. Высоту опоры принять равной $h_{оп} = 0,1 \cdot H$. Рекомендуемая литература [1, 10].

Рис. 14. Расчетная схема ВВА

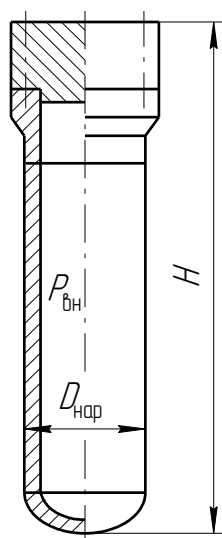
Табл. 14. Исходные данные к теме № 7

№ варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
H , м	15	20	22	26	30	20	24	25	28	18
$D_{нар}$, м	1,2	1,6	1,4	1,8	1,8	1,4	1,6	1,6	2,0	2,2

Последовательность выполнения проекта

1. Подобрать конструкционные материалы.
2. Подобрать днища и крышки.
3. Определить толщину стенки корпуса от расчетного давления.
4. Определить изгибающий момент от действия ветровой нагрузки.
5. Рассчитать опору на опрокидывание.
6. Проверить условие установки фундаментных болтов.

7. Рассчитать на прочность и подобрать сечение опорного кольца.



Тема № 8

Рассчитать толщину стенки цилиндрической части, подобрать и рассчитать днище и крышку, проверить на допускаемое давление аппарат высокого давления (рис. 15) по следующим исходным данным (табл. 15): H – высота аппарата, м; $D_{нар}$ – наружный диаметр аппарата, м; t – температура внутри аппарата, °C; $P_{вн}$ – давление внутри аппарата, МПа. Среда – аммиачная. Рекомендуемая литература [1, 10].

Рис. 15. Расчетная схема АВД

Табл. 15. Исходные данные к теме № 8

№ варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
H , м	3,0	3,2	3,6	3,8	3,2	3,4	2,8	2,6	3,0	3,2
$D_{нар}$, м	1,5	1,6	1,6	1,8	1,4	2,4	1,2	1,4	2,2	2,0
t , °C	300	350	360	320	300	340	300	320	340	360
$P_{вн}$, МПа	26	24	28	30	18	20	22	24	30	32

Последовательность выполнения проекта

1. Подобрать конструкционные материалы.
2. Обосновать выбор расчетных температур и давлений.
3. Ориентировочно рассчитать толщину стенки сосуда.
4. Выбрать конструкцию и метод изготовления АВД.
5. Проверить корпус и крышку на прочность.
6. Проверить корпус на характеристические давления.
7. Подобрать затворы АВД.
8. Рассчитать и проверить на устойчивость опорную обечайку.
9. Рассчитать и подобрать профиль опорного кольца.

Тема № 9.

Рассчитать и спроектировать теплообменник (рис. 16) по следующим исходным данным (табл. 16): $t_{тр}$ – температура в трубном пространстве, °C; $t_{мтр}$ – температура в межтрубном пространстве, °C; $P_{тр}$ – давление в трубном пространстве, МПа; $P_{мтр}$ – давление в

межтрубном пространстве, МПа; D_k – диаметр кожуха, м; L – длина кожуха, м. Среда в трубном пространстве – агрессивная, в межтрубном – водяной пар. Рекомендуемая литература [1, 10, 17].

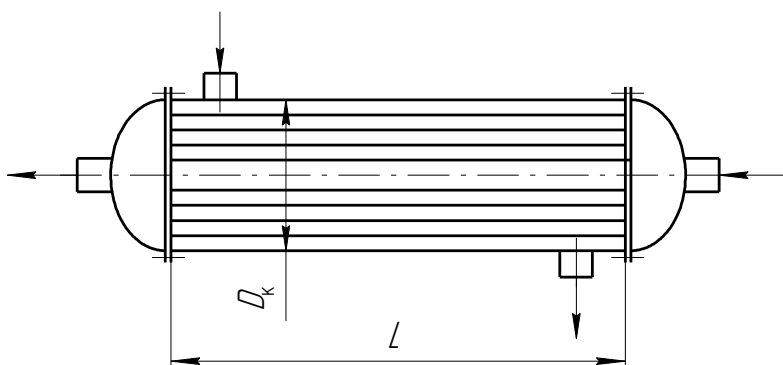


Рис. 16. Расчетная схема теплообменника

Табл. 16. Исходные данные к теме № 9

№ варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$t_{тр}, ^\circ\text{C}$	132	86	90	112	50	41	112	104	109	140
$t_{мтр}, ^\circ\text{C}$	150	110	115	130	80	90	120	120	130	160
$P_{тр}, \text{МПа}$	0,3	0,06	0,07	0,16	0,01	0,01	0,16	0,12	0,14	0,4
$P_{мтр}, \text{МПа}$	0,5	0,16	0,16	0,3	0,05	0,1	0,2	0,2	0,3	0,7
$D_k, \text{м}$	2,0	2,2	2,2	2,4	2,4	2,0	2,6	2,4	2,6	2,6
$L, \text{м}$	4,0	3,6	3,8	3,2	3,0	3,2	3,0	3,6	4,0	3,8

Последовательность выполнения проекта

1. Подобрать конструкционные материалы.
2. Обосновать из условий прочности и подобрать тип теплообменника.
3. Рассчитать кожух на прочность.
4. Рассчитать кожух на устойчивость.
5. Подобрать и рассчитать днища.
6. Рассчитать на прочность трубную решетку.
7. Подобрать седловые опоры.
8. Подобрать штуцера.
9. Рассчитать прочно-плотные соединения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лашинский А. А. Конструирование сварных химических аппаратов. – Л.: Машиностроение, 1981. – 382 с.
2. ГОСТ 24306-80. Сосуды и аппараты. Технические требования. – М.: Госкомитет СССР по стандартам, 1980. – 46 с.
3. Журавлев М. И., Фололеев А. А. Механическое оборудование предприятий вяжущих материалов и изделий на базе их. – М.: Высшая школа, 1973. – 310 с.
4. Соколов В. И. Основы расчета и конструирования деталей и узлов пищевого оборудования. – М.: Машиностроение, 1963. – 430 с.
5. Канторович З. Б. Основы расчета химических машин и аппаратов. – М.: Машиностроение, 1960. – 743 с.
6. Михалев М. Ф. Расчет и конструирование машин и аппаратов. – Л.: Машиностроение, 1984. – 299 с.
7. Николаев Г. А., Куркин С. А. Сварные конструкции. – М.: Машиностроение, 1982. – 269 с.
8. Николаев Г. А., Куркин С. А. Расчет, проектирование и изготовление сварных конструкций. – М.: Машиностроение, 1971. – 758 с.
9. Дарков А. В. Строительная механика. – М.: Высшая школа, 1976. – 600 с.
10. Вихман Л. Г., Круглов С. А. Основы конструирования аппаратов и машин нефтеперерабатывающих заводов. – М.: Машиностроение, 1978. – 326 с.
11. Колотушкин А. С. Расчет виброизоляции пищевых машин. – М.: Машиностроение, 1971. – 300 с.
12. Новосельская Л. В., Гарабажиу А. А. Расчет и конструирование машин и агрегатов: Учебное пособие по одноименной дисциплине для студентов спец. 1-36 07 01 «Машины и аппараты химических и силикатных производств». – Мн.: БГТУ, 2004. – 49 с.
13. Беленя Е. И. Металлические конструкции. – М.: Машиностроение, 1976. – 600 с.
14. Банит Ф. Г., Несвижский О. А. Механическое оборудование цементных заводов. – М.: Машиностроение, 1975. – 318 с.
15. Справочник по кранам / Под ред. А. И. Дукельского. – Л.: Машиностроение, 1971. – 399 с.
16. Вершинский А. В. Строительная механика. – Л.: Машиностроение, 1984. – 230 с.
17. Козулин Н. А., Соколов В. Н. Примеры и задачи по курсу оборуд-

дования заводов химической промышленности. – Л.: Машиностроение, 1966. – 430 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1. Общие указания	3
2. Программа дисциплины	4
2.1. Введение	4
2.2. Материалы металлоконструкций механического оборудования	4
2.3. Расчет оболочек вращения	5
2.4. Проектирование днищ и крышек	5
2.5. Проектирование прочно-плотных соединений	5
2.6. Проектирование горизонтальных сосудов	6
2.7. Проектирование аппаратов высокого давления	6
2.8. Проектирование медленно вращающихся оболочек	6
2.9. Проектирование деталей, подверженных колебаниям	6
2.10. Расчет виброизоляции	6
2.11. Проектирование балок	7
2.12. Расчет и конструирование стержней	7
2.13. Проектирование ферм для механического оборудования	7
2.14. Проектирование рам для механического оборудования	7
2.15. Расчет и проектирование тонких жестких пластин	7
3. Указания к выполнению контрольной работы	8
3.1. Содержание контрольной работы	8
3.2. Вопросы к контрольной работе	8
3.3. Задачи к контрольной работе	10
4. Указания к выполнению курсового проекта	14
4.1. Содержание курсового проекта	14
4.2. Рекомендации по выбору расчетных данных	14
4.3. Тематика курсового проектирования	17
Литература	28

РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ МАШИН И АГРЕГАТОВ

Составители: **Новосельская** Людмила Викторовна
Гарабажиу Александр Андреевич

Редактор К. В. Мишина

Подписано в печать 26.07.2004. Формат 60x84¹/16.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 2,0. Уч.-изд. л. 1,7.
Тираж 100 экз. Заказ .

Учреждение образования «Белорусский государственный
технологический университет». 220050. Минск, Свердлова, 13а.
Лицензия ЛИ № 02330/0133255 от 30.04.04.

Отпечатано в лаборатории полиграфии учреждения образования
«Белорусский государственный технологический университет».
220050. Минск, Свердлова, 13.